

# 电机综合测试系统采集分析软件设计<sup>\*</sup>

童陟嵩<sup>1</sup>, 李怀珍<sup>1,2</sup>

(1. 上海电科电机科技有限公司, 上海 200063;  
2. 上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司, 上海 200063)

**摘要:** 简要介绍了电机综合测试系统的组成,在此基础上分析了电机测试系统采集分析软件的开发功能需求,设计了系统软件架构。同时,基于该软件架构利用 Visual Studio 2019 开发环境中的 C# 编程语言进行电机综合测试系统采集分析软件的开发。详细介绍了软件人机界面的设计,并以三相异步电机作为典型案例,详述了试验软件典型试验项目的设计及实现过程。

**关键词:** 电机测试; 三相异步电机; 试验系统; 软件设计

中图分类号: TM306 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2022)05-0103-07

doi: 10.12177/emca.2022.014

## Design of Sampling and Analysis Software for Motor Integrated Test System<sup>\*</sup>

TONG Zhisong<sup>1</sup>, LI Huaizhen<sup>1,2</sup>

(1. SEARI Motor Science and Technology Co., Ltd., Shanghai 200063, China;  
2. Shanghai Engineering Research Center of Motor System Energy Saving Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

**Abstract:** The composition of the motor integrated test system is briefly introduced. Based on this system, the software development function requirements of the motor test system are analyzed, and the system software architecture is designed. Based on the software architecture, the C# programming language of the Visual Studio 2019 development platform is used to develop the motor integrated test system software. The design of the software human-machine interface is introduced in detail. The three-phase asynchronous motor is taken as a typical case, and the functional design and the realization of the typical test project of the test software are described in detail.

**Key words:** motor test; three-phase asynchronous motor; testing system; software design

## 0 引言

电机试验是利用仪器、仪表及相关设备,按照相关的规定,对电机制造过程中的半成品和成品,或以电机为主体的配套产品的电气性能、力学性能、安全性能及可靠性等技术指标进行测试的检验<sup>[1]</sup>。通过这些检验,可以全部或部分的反映被试电机的相关性能数据,通过这些数据,可以判断被试电机是否符合设计要求、品质的优劣以及预测改进的目标和方向<sup>[2]</sup>。

传统的检测设备和试验方法,采用人工操作和观测的方式进行电机试验。由于操作时间长,需观测的仪器多,人工读取测试数据并手工进行数据分析、计算,该方式自动化程度低,工作强度大,耗费大量的人力、物力和时间,在很大程度地影响了电机总体性能的判断。

目前,国内针对电机测试系统的试验软件多为非标设计开发,且大都停留在数据采集阶段,缺少相应的数据分析处理能力,支持或兼容的国际通用标准和国家标准比较单一。

收稿日期: 2022-01-20; 收到修改稿日期: 2022-04-11

\*基金项目:“科技助力经济 2020”重点专项项目(2020YFF0401483)

作者简介: 童陟嵩(1983—),男,工程师,研究方向为电机检测系统的软硬件开发。

李怀珍(1985—),男,硕士,高级工程师,研究方向为机电控制技术、电机检测技术和设备等。

本文以 Microsoft Visual Studio 2019 作为开发环境,采用 C#高级语言开发了一套电机综合测试系统采集分析软件,实现了电机测试的自动化和数据处理的智能化,提高了电机测试效率,降低了试验人员的作业强度。

## 1 试验系统组成

电机综合测试系统通常由采集单元、电源单元、控制单元以及数据中心组成,电机综合测试系统总体结构如图 1 所示。

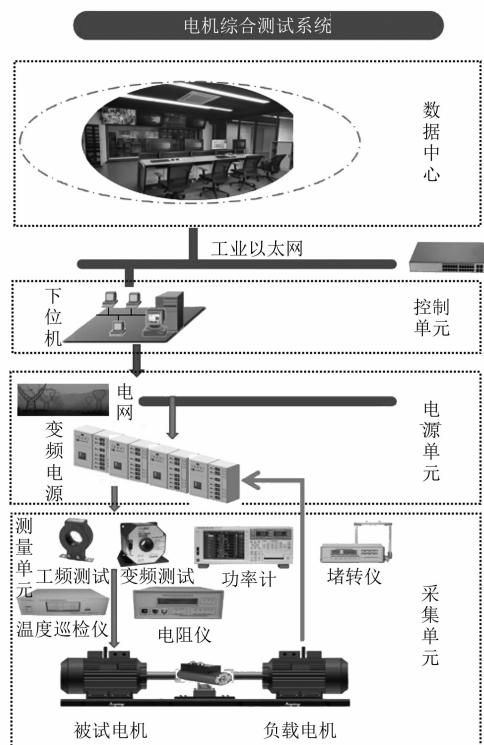


图 1 电机综合测试系统总体结构

采集单元由机械参量测量转矩转速传感器、电参量测量电流传感器和功率分析仪、辅助测量用电阻仪等仪器仪表组成,主要功能是完成试验电机的电参量和非电参量的测量<sup>[3]</sup>;电源单元由变频电源、变压器等构成,用于为试验电机提供供电电源;控制单元通常采用可编程控制器(PLC)完成系统的自动控制;数据中心则是由以工业控制计算机为中心的电机试验软件组成,试验软件通过数据总线和服务器及测量仪表(主要有:电参数测量仪、转矩转速测量仪、直流电阻仪、温度巡检仪等)通信,根据测试需求自动采集试验数据,如:电压、电流、功率、功率因数、转矩、转速、温

度等,根据试验项目及相关设置存储和处理数据,绘制曲线并自动生成试验报告。采集单元和电源单元是系统最为核心的组成部分,关系着系统的测量精度和试验效果,而控制单元和数据中心则是系统的灵魂,决定着系统的自动化程度和智能化水平<sup>[4]</sup>。

## 2 软件功能及架构设计

### 2.1 软件功能

电机综合测试系统采集分析软件功能要求主要包括以下方面。

- (1) 系统控制。与 PLC 及其他可控设备通信,控制系统运行并实时反馈系统运行状态。
- (2) 实时数据显示。通过通信接口显示、采集和保存测试仪器的实时数据。
- (3) 标准数据库管理。建立、修改判定记录,并对测试结果进行自动判定。
- (4) 试验数据管理。可按照电机型号、编号、测试日期、功率范围、电压范围查询历史数据,载入数据后,可查看完整的原始记录、试验计算报告。
- (5) 铭牌信息管理。直接导入数据库中同型号电机铭牌信息。
- (6) 数据图表。部分试验项目中需要试验数据的曲线拟合图表,数据采集后,曲线会自动调整到最佳的显示位置。
- (7) 硬件故障集中显示处理。对硬件故障做集中收集和处理,在检测到故障后,根据故障的程度闪烁不同颜色的警告标志,显示详细的故障信息和处理方式。
- (8) 报告生成。测试数据新建或载入后,输出生成 Excel 报告便于用户打印、分发。
- (9) 运行日志。软件系统运行过程中会将调试、故障等信息记录在日志系统中,当系统发生故障时,可通过日志系统远程协助用户。
- (10) 自动控制。根据设定完成测试流程并根据选择的判定标准判定测试结果并形成报告。

### 2.2 软件架构

根据系统软件功能要求,设计电机综合测试系统采集分析软件架构,如图 2 所示。

在软件架构上,电机综合测试系统采集分析软件由四部分组成,如下所述。

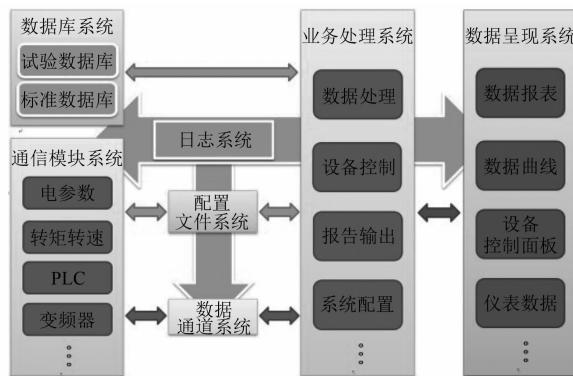


图 2 电机综合测试系统采集分析软件架构

(1) 数据库系统。由试验数据库和标准数据库组成,用于完成试验数据的记录、存储以及标准判定。

(2) 通信模块系统。通过约定协议与试验系统中仪器仪表以及其他设备通信(如 PLC、变频电源等),完成数据的交互传输。

(3) 业务处理系统。由数据处理、设备控制、报告输出、系统配置等部分组成,完成系统的数据采集、分析、系统控制、结果输出等。

(4) 数据呈现系统。由数据报表、数据曲线、设备控制面板等部分组成,完成系统的人机交互。

### 3 软件设计与开发

#### 3.1 开发及运行环境

本文利用 Visual Studio 2019 开发环境中的 C# 编程语言进行电机综合测试系统采集分析软件的开发。系统软件运行环境如下。

CPU: 酷睿 i3 2.9 GHz 或以上。

RAM: 2 GB 以上。

操作系统: Microsoft Windows 10 及以上版本。

支撑环境: Net Framework 4.8 及以上版本; Office 2007 及以上版本。

数据库: Access 2007。

#### 3.2 软件界面设计

电机综合测试系统采集分析软件主界面如图 3 所示,主要由四个部分组成。

(1) 主菜单。该按钮功能为显示软件各个功能的菜单,包括用户登录、新建测试、查询记录、标准数据库、控制台、通讯(通信)端口设置、温度通道设置、仪表选择、仪器管理等 12 个菜单项,菜单



图 3 电机综合测试系统采集分析软件主界面

项如图 4 所示。简要说明如下。

用户登录: 打开用户登录窗口。

最近测试: 显示最近的测试记录, 点击可打开记录。

新建测试: 打开新建测试窗口。

标准数据库: 打开标准管理页面。

关闭所有测试: 关闭所有打开的试验。

控制台: 打开设备控制台窗口。

通讯(通信)端口设置: 打开仪表通信端口设置页面。

仪表选择: 在多仪表情况下, 选择实际采集所使用的仪表。

仪表管理: 用于记录和管理仪器的相关信息, 并可以根据需要导出至测试报告。

温度通道设置: 用于配置使用的温度通道。

关于我们: 显示本软件的版本信息。

控制台是试验系统操作的中枢, 典型控制台设计示例如图 5 所示, 包括系统和电源的控制、电压和频率的设置调节等功能。



图 4 菜单项



图 5 典型控制台设计示例

(2) 标题栏。显示当前应用程序名,也包含程序图标、“最小化”和“最大化”以及“关闭”按钮,可以简单地对窗口进行操作,也可选择修改界面主题颜色。

(3) 实时数据栏。实时数据栏主要为电机测试提供实时的数据,实时数据栏界面如图 6 所示,主要包括加载状态、电参量、机械量、温度通道。

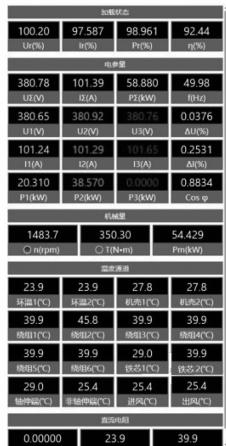


图 6 实时数据栏

(4) 状态栏。状态栏用于显示系统的登录用户信息、报警状态和系统软件的版本。

报警状态通过故障指示器搜集、显示和处理所有硬件相关的故障信息,如图 7 所示。当系统存在故障时,故障指示器会显示为一个橙色或红色闪动的感叹号图标。橙色表示当前所有故障中最高故障级别为警告级别;红色则表示为故障级别。

当将鼠标指针移动到指示器图标内时,会弹出故障详细信息窗口,窗口中包含所有未清空的故障信息,如故障时间和详细故障原因,如果可以



图 7 故障指示器

通过软件复位处理的故障,还会显示对应的处理按钮。

## 4 主要功能实现及测试实例

### 4.1 新建测试

打开软件测试的主菜单以后,点击新建测试,会弹出新建测试界面,如图 8 所示。测试的电机类型分为三相异步电机、变频电机、永磁同步电机和船检测试。点击主界面的菜单按钮,选择“新建测试”单击鼠标左键,跳出新的界面供客户选择电机类型,如选择三相异步电机,点击“新建”按钮便成功新建测试界面,直接跳转进入铭牌信息。



图 8 新建测试界面

### 4.2 数据查询

打开软件测试的主菜单以后,点击数据查询,会弹出数据查询界面,如图 9 所示。在此之前创建的所有电机型号中能够快速找到自己想要查询的电机型号。点击界面左上角设置按钮为菜单,点击查询记录,会弹出查询记录的界面包含查询和载入按钮,查询记录是为了能够更快地在所有新建测试的电机型号中找到想要查询的电机型号。



图 9 数据查询界面

查询。直接点击查询按钮会出现自己所有的修改记录,条件查询包含:试验类型、试验日期、产品编号、设计单号、订单号、环境温度、试验日期、

功率范围和电压范围。出现的记录中可以调动页面,可以调整每个页面的记录条数和想要翻到的页码数。可以通过模糊查询:勾选想要查询的条件,按照想要查询的条件查询修改记录并且可以设置每页的记录条数和想要查看的页码数。

载入。主要功能为点击查询到的电机型号,载入出现该电机的所有数据。点击界面左上角设置按钮,点击查询记录,会弹出查询记录的界面,包含查询和载入按钮,点击载入之后直接进入该型号电机的基本信息界面并且铭牌信息界面也可以点击。

### 4.3 标准数据

打开软件测试的主菜单以后,点击标准数据,会弹出标准数据界面,如图 10 所示。点击型号和标准名称,以标准数据参数为参考,不在此标准范围内的即为不合格,在此标准范围的即为合格。点击主界面菜单,选中标准数据库创建,在跳出的新界面中选择电机类型、型号及标准名称,点击“创建”按钮,标准数据创建成功,且一个型号可以对应一个或多个标准名称。



图 10 标准数据界面

标准参数。在创建的相应的电机标准中,含有该电机的标准参数,即在各种标准参数设定下,测试电机的合格性。标准参数界面上包含有冷态直流端电阻、冷态工频耐压试验和温升试验等。

菜单中选中标准数据库创建,创建标准的电机类型选择三相异步电机,填入型号和标准名称,创建标准管理,在对应的标准参数中,有冷态直流端电阻、冷态工频耐压试验及热态工频耐压试验等,每一项均可以通过点击“下拉键”显示其详细信息,如不平衡度、平均电阻等。上下限是其标准的条件,如果超出此范围,则为不合格;冷态工频耐压试验的标准值和保证值与上下限是一个意

思,标准值是下限,保证值是上限,不能超出此范围。

### 4.4 铭牌信息

打开软件测试的主菜单以后,点击铭牌信息,会弹出铭牌信息界面,如图 11 所示。铭牌信息是在点击新建测试、查询记录中的载入或者最近测试以后所弹出的界面,包含了电机所有可显示的信息。可修改型号、产品名称、设计单号等数据,输出报告按钮是将采集的信息汇总在一起,之后在 excel 表格报告中生成。在报告列表中修改报告名称,可在铭牌信息下的“型式试验”中显示。

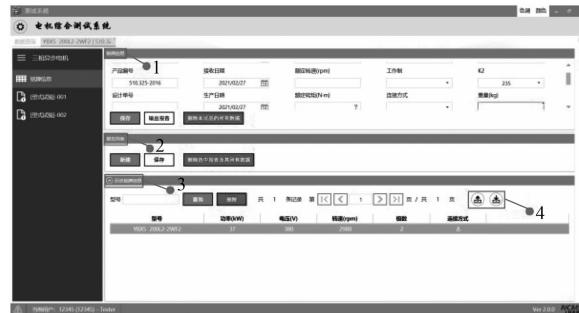


图 11 铭牌信息界面

铭牌信息。测试电机的主要信息都在此显示,且信息数据都可手动修改。注意:输入格式错误时会有错误提示。

报告列表。改变报告名称和测试类型,与之对应的左侧状态栏铭牌信息下的信息也会随之更改。

历史铭牌信息。可查询保存之后的历史铭牌信息。

按钮。左侧按钮是将保存过的历史数据填充到铭牌信息中。右侧按钮是为了保存铭牌信息,要先点击此按钮,成功创建一条历史铭牌信息后,点击查询按钮才会有数据显示。

### 4.5 测试实例

三相异步电机为常用测试电机,本例以三相异步电机综合性能测试为实例,详述试验软件的功能设计及实现。

#### 4.5.1 型式试验

在点击新建测试、选择最近测试或者选择查询记录中的载入以后所弹出的界面。在新建测试时,会选择测试的电机类型。

#### 4.5.2 试验项目

三相异步电机试验项目包含了 17 个项目试

验,如堵转试验、温升试验、负载试验等,如图 12 所示,本文仅以三相异步电机常用典型试验为例予以介绍系统功能的实现。



图 12 三相异步电机试验项目

(1) 堵转试验。堵转试验在电机接近实际冷状态下进行。试验时,应将转子堵住不转动。对绕线转子电机应将转子绕组在集电环上短路<sup>[5]</sup>,堵转试验界面如图 13 所示。

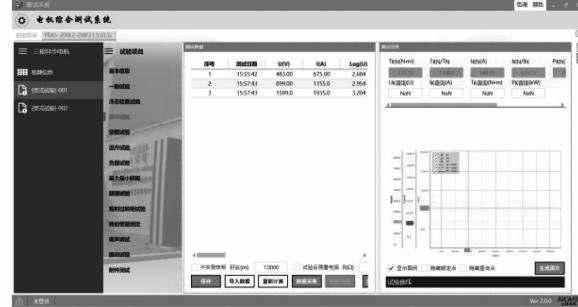


图 13 堵转试验界面

在堵转的情况下,将所测电机进行测试。堵转试验的过程包括测试数据的输入和测试结果、试验曲线的输出。测试数据可从外部导入,点击导入数据,便会提示导入成功。测试数据中的电压、电流、杆长、功率都可以手动输入。点击“数据采集”按钮可以进行采集,点击一次,测试数据便多一组,重新计算后,坐标系函数曲线会相应地做出改变。

不实测转矩和试验后测量电阻均可进行勾选操作:若勾选不实测转矩,则无论杆长有多长均不影响试验结果;若不勾选,则试验结果随着杆长的变化而变化。若勾选试验后测量电阻,并点击重新计算, $R(\Omega)$ 列会出现设定好的数值;若不勾选,则是采集试验中的数据。

(2) 温升试验。温升试验目的是确定电机在

额定负载条件下运行时定子绕组的工作温度和电机某些部分温度高于冷却介质温度的温升<sup>[6]</sup>,温升试验界面如图 14 所示。



图 14 温升试验界面

底部颜色。在测试数据中温度通道为绿色则表明合格,颜色可分为三种包括绿色、黄色和红色。在 1 h 内温度差异小于 1 K 时为绿色;温度差异大于 1 K 小于 2 K 时为黄色;温度差异大于 2 K 时为红色。

温升通道设置。可以选择想要测量的温度名称,添加至测试数据中。测试数据中的自动采集,这里的自动采集是对应的菜单栏中的温度曲线。

(3) 负载试验。负载试验的目的是确定电机的效率、功率因数、转速、定子电流、输入功率等与输出功率的关系<sup>[7]</sup>。试验采用直接负载法,用合适的设备给电动机加载,负载试验界面如图 15 所示。



图 15 负载试验界面

在负载试验界面里增加了一个转矩折算窗口,转矩折算包括带测功机和不带测功机,在这两种情况下,进行测试电机的负载试验,有测试的结果和试验曲线。

## 5 软件特点

电机综合测试系统采集分析软件具有如下特点。

(1) 可组合性。根据选择的不同型号的仪器设备,可灵活加载不同的模块实现上位机的远程控制和数据采集。

(2) 扩展性。在用户业务扩展或测试标准升级后,可通过替换相关业务逻辑模块实现快速升级,并且提供第三方接口,用户可以根据自己业务的需要实现二次开发。

(3) 可配置性。针对不同的应用场景,用户可通过设置相关配置实现应用场景的切换。

(4) 可靠性。日志子系统可以记录软件运行过程中的各种状态,当系统故障时便于工程师远程协助并处理故障。

(5) 数据可视化。对于采集后的数据,通过可视化的分析曲线和图形等方式呈现,方便用户以更直观的视角理解、分析数据。

## 6 结语

该电机综合测试系统采集分析软件主要功能为采集电机试验的测试数据,并对测试数据进行分析计算,通过相应分析处理能够更加直观地判定测试电机是否符合国家标准,系统软件具有操作简便、配置灵活、显示直观的优点。

(上接第 74 页)

- [2] SHI M L, WANG D Z, ZHANG J G. Nonlinear dynamic analysis of a vertical rotor-bearing system [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2013, 27(1): 9.
- [3] 年琦,贺益康.感应型无轴承电机磁悬浮力解析模型及其反馈控制[J].中国电机工程学报,2003,23(11): 139.
- [4] 孙晓东,陈龙,杨泽斌,等.考虑偏心及绕组耦合的无轴承永磁同步电机建模[J].电工技术学报,2013,28(3): 63.
- [5] 仇志坚,邓智泉,王晓琳,等.计及偏心及洛伦兹力的永磁型无轴承电机建模与控制研究[J].中国电机工程学报,2007,27(9): 64.
- [6] 朱焜秋,计宗佑,丁海飞.永磁辅助无轴承同步磁阻电机优化及电磁分析[J].电机与控制学报,2020,24(4): 59.
- [7] 李权,贾红云,徐放,等.双绕组定子永磁型无轴承电机设计[J].微特电机,2017,45(1): 15.
- [8] 张涛,朱焜秋,孙晓东,等.基于涡流损耗分析的永磁型无轴承电机优化[J].电机与控制学报,2012,

目前,本电机综合测试系统采集分析软件已成功应用于百余个电机试验工程项目中,具有组合性高、扩展性强、配置灵活、运行稳定的特点,能够满足电机测试的需求,取得了较为满意的试验结果。

## 【参考文献】

- [1] 吴汉熙,韩宝江,李巧莲,等.检测技术及设备在电机制造中的应用[J].电机与控制应用,2012,39(5): 37.
- [2] 葛治国.电机自动测试系统研制与研究[D].杭州:浙江大学,2002.
- [3] 王海军,李怀珍.伺服电机及系统特性性能测试系统设计[J].电机与控制应用,2018,45(1): 127.
- [4] 赵云峰,李怀珍.小功率永磁同步电机性能测试台的设计[J].微电机,2019,52(8): 99.
- [5] 中国电器工业协会. GB/T 1032—2012. 三相异步电动机试验方法[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [6] 邹晓阳,程浩,李潼清,等.基于 LabVIEW 的牵引电机温升试验自动化测试系统[J].通信电源技术,2018,35(9): 76.
- [7] 李建军,汪蓉,李怀珍.ACS800 变频器在自动扶梯驱动主机加载试验台上的应用[J].电机与控制应用,2018,45(12): 46.
- [8] 年琦,贺益康,秦峰,等.永磁型无轴承电机的无传感器运行研究[J].中国电机工程学报,2004,24(11): 101.
- [9] 刘思嘉,范瑜,邸珺,等.一种竖直无轴承电机结构及其转子定位控制[J].中国电机工程学报,2016,36(17): 4728.
- [10] YANG Y, DENG Z Q, YANG G, et al. A control strategy for bearingless switched-reluctance motors [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, 25(11): 2807.
- [11] 姜海博,黄进,康敏.单绕组五相永磁无轴承电机的 SVPWM 控制[J].电工技术学报,2011,26(1): 34.
- [12] 颜磊.无轴承永磁同步电机无位移及无速度传感器技术研究[D].镇江:江苏大学,2020.
- [13] 袁建飞,朱焜秋,赵玉亮,等.一种新型双三相无轴承永磁同步电机结构原理及控制研究[J].电工电能新技术,2017,36(1): 16.
- [14] 朱焜秋,计宗佑,丁海飞.永磁辅助无轴承同步磁阻电机优化及电磁分析[J].电机与控制学报,2020,24(4): 59.
- [15] 年琦,贺益康,秦峰,等.永磁型无轴承电机的无传感器运行研究[J].中国电机工程学报,2004,24(11): 101.
- [16] 姜海博,黄进,康敏.单绕组五相永磁无轴承电机的 SVPWM 控制[J].电工技术学报,2011,26(1): 34.
- [17] 颜磊.无轴承永磁同步电机无位移及无速度传感器技术研究[D].镇江:江苏大学,2020.
- [18] 袁建飞,朱焜秋,赵玉亮,等.一种新型双三相无轴承永磁同步电机结构原理及控制研究[J].电工电能新技术,2017,36(1): 16.